



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 43 28 619 C 2

⑤① Int. Cl. 6:  
**B 22 D 19/02**  
B 22 D 15/02  
B 22 D 19/14

②① Aktenzeichen: P 43 28 619.4-24  
②② Anmeldetag: 26. 8. 93  
④③ Offenlegungstag: 2. 3. 95  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 10. 8. 95

②

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Peak Werkstoff GmbH, 42553 Velbert, DE

⑦② Erfinder:  
Hummert, Klaus, Dipl.-Phys., 48653 Coesfeld, DE;  
Schattevoy, Rolf, Dipl.-Ing., 42899 Remscheid, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-PS 41 12 693 C2  
DE-PS 31 00 755 C2  
DE-OS 40 05 097 A1  
DE-OS 23 33 198  
DD-PS 2 94 646 A5

⑤④ Partiiell verstärktes Al-Gußbauteil und Verfahren zu dessen Herstellung

DE 43 28 619 C 2

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung betrifft ein partiell verstärktes Al-Gußbauteil, bestehend aus einem Al-Gußteil und einem von dessen Grundwerkstoff zumindestens partiell durch Eingießen umschlossenen Verstärkungsteil sowie das Verfahren zur Herstellung derartig verstärkter Al-Gußbauteile.

Al-Gußbauteile finden aufgrund ihres geringen spezifischen Gewichts, der einfachen Formgebung und leichten Verarbeitbarkeit vielseitig Verwendung. Über die verschiedenen Gießverfahren lassen sich komplizierte Werkstücke, wie z. B. Kolben für Verbrennungsmaschinen, Zylinderköpfe oder Motorblöcke kostengünstig herstellen. Solche Bauteile, insbesondere bestimmte Bereiche dieser Bauteile unterliegen bei Betriebsbeanspruchung hohen thermischen und/oder mechanischen Belastungen. Um diesen Belastungen standzuhalten, sind bei der Verwendung konventioneller Al-Gußwerkstoffe häufig ungünstige Konstruktionen mit großen Wandstärken erforderlich oder es müssen schwer gießbare Aluminiumlegierungen eingesetzt werden. Solche Legierungen sind z. B. übereutektische AlSi-Gußlegierungen, die zur Erhöhung der notwendigen Verschleißfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit von Zylinderlaufbuchsen eingesetzt werden. Diese Legierungen sind allerdings nur mit großem Aufwand und in kleinen Serien zu gießen. Die Verschleißfestigkeit der Lauffläche wird dabei durch spezielle Ätz- und Beschichtungsverfahren erreicht, die im Hinblick auf ihre Umweltbedenklichkeit und die Entsorgung der entstehenden Chemikalien ebenfalls nur im Kleinserienmaßstab vertretbar sind.

Da andererseits Al-Gußwerkstoffe in anderen Bereichen der o. g. Bauteile den dortigen Anforderungen genügen, sind verschiedene Verfahren bekannt, Al-Gußbauteile an den stark belasteten Bereichen dieser Bauteile mit Werkstoffen, die die gewünschten mechanischen und physikalischen Eigenschaften besitzen, zu verstärken. So ist u. a. bekannt, Al-Gußwerkstoffe mit Fasern oder Partikeln zu verstärken. Dadurch wird insbesondere eine hohe Verschleißfestigkeit erreicht. Die thermische Belastbarkeit wird dagegen kaum beeinflusst, da die Matrix solcher Werkstoffe die konventionelle Al-Gußlegierung darstellt. Für die Herstellung derartig verstärkter Werkstoffe sind nur spezielle Gießverfahren geeignet, die langsame Taktzeiten und hohe Drücke verlangen.

Nachteilig bei einem derartigen Verfahren ist des weiteren die aufwendige Fertigbearbeitung, die nur mit Diamantwerkzeugen möglich ist und werden bei der spanenden Bearbeitung Fasern durchtrennt, können sich diese mit der Zeit aus der Matrix lösen und zu Schädigungen der Bauteile führen, die mit den Fasern in Berührung kommen.

Es ist auch bereits bekannt, pulvermetallurgische Al-Werkstoffe mit Al-Gußwerkstoffen zu verbinden. Dies ist u. a. mit Hilfe des Reibschweißverfahrens möglich. Sowohl der pulvermetallurgische Verstärkungswerkstoff als auch der Gußwerkstoff kann jeweils nach optimalen Parametern hergestellt werden. Beim Verbinden dieser Werkstoffe durch Reibschweißen erfolgt nur eine kurzzeitige Temperaturbelastung, so daß die Werkstoffeigenschaften des Verstärkungswerkstoffs kaum herabgesetzt werden. Das Reibschweißen ist allerdings auf einfache Bauteilgeometrien beschränkt, da nur axiale und keine radialen Verschweißungen möglich sind. Darüber hinaus besteht die Gefahr, daß durch das Reibschweißen Spannungen im Bauteil erzeugt werden, die

eine zusätzliche Wärmebehandlung zum Entspannen erforderlich machen. Nachteilig bei diesem Verfahren ist weiterhin die Anzahl der Verfahrensschritte. Das Reibschweißen selbst ist ein zusätzlicher Arbeitsschritt und um reproduzierbare Ergebnisse zu erreichen, sind des weiteren sowohl Verstärkungsteil als auch das Gußwerkstück vor der Verschweißung spanend zu bearbeiten.

In der DE-PS 31 00 755 ist ein Bauteil beschrieben, das einen Einsatz aus disperionsgehärtetem Sinteraluminium besitzt, welcher durch Eingießen, Einpressen oder Einschweißen in das Bauteil eingebracht wird. Das Eingießen als Herstellungsverfahren von verstärkten Al-Gußteilen ist kostengünstig, da kein zusätzlicher Verfahrensschritt, wie z. B. beim Reibschweißen, notwendig ist, um den Verbund herzustellen. Nachteilig bei dem in der DE-PS 31 00 755 vorgeschlagenen Bauteil ist, daß keine einwandfreie Verbindung in der Fügezone erreicht wird. Aufgrund der verfahrensbedingten hohen Gasgehalte der pulvermetallurgisch hergestellten Werkstoffe, sind diese für ein Eingießen wenig geeignet. Beim Kontakt eines pulvermetallurgischen Bauteils, welches entweder aus einem Al-Sinterwerkstoff besteht (pulvermetallurgisches Formteilverfahren) oder aus einem PM-Werkstoff (pulvermetallurgisches Halbzeugverfahren), welcher z. B. durch Verdüsen von Aluminiumschmelze, kaltisostatischem Pressen und anschließendes Warmstrangpressen zu voller Dichte hergestellt wurde, mit der Schmelze der konventionellen Al-Gußlegierung, kommt es zu sofortigem Ausgasen mit starker Porenbildung in der Fügezone und im pulvermetallurgischen Bauteil. Diese Porenbildung verhindert einen guten Werkstoffverbund.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Bauteil aus partiell verstärktem Al-Guß zu schaffen, welches auf einfache und kostengünstige Weise herstellbar ist und einen vollständigen Materialverbund zwischen Al-Guß und Verstärkungsteil aufweist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß ein Bauteil zur Verfügung gestellt wird, bestehend aus einem Al-Gußteil und einem von dessen Grundwerkstoff zumindest partiell durch Eingießen umschlossenen Verstärkungsteil, das aus einem sprühkompaktierten Aluminium-Werkstoff besteht. Über das Sprühkompaktieren und die weiteren Verfahrensschritte Strangpressen bzw. Schmieden können Aluminiumprofile oder Aluminiumschmiedestücke hergestellt werden, die in ihren Eigenschaften konventionellen Al-Gußlegierungen weit überlegen sind. Diese Al-Werkstoffe weisen gegenüber den Al-Sinterwerkstoffen oder PM-Al-Werkstoffen erheblich niedrigere Gasgehalte auf, die sogar noch unter den Gasgehalten von konventionellen Al-Guß- oder Al-Knetlegierungen liegen. Darüber hinaus sind mit diesem Verfahren Werkstoffe herstellbar, die in ihren mechanischen und physikalischen Eigenschaften ähnlich den über Verdüsung hergestellten Al-PM-Werkstoffen sind. Im Vergleich zu konventionell gegossenen Al-Werkstoffen ist es mittels des Sprühkompaktierverfahrens ohne Probleme möglich, den Si-Gehalt im Al-Werkstoff auf Gehalte von über 35 Gew.-% Si zu erhöhen. Damit ist es möglich den Wärmeausdehnungskoeffizienten auf beliebige Werte zwischen  $23 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  und  $13 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  einzustellen. Da auch die Gehalte anderer Legierungselemente wie z. B. Fe, Ni, Cu, Mg für technisch sinnvolle und verwendbare Legierungen in weiten Grenzen eingestellt werden können, ist es sehr leicht möglich Werkstoffe auf einen vorgegebenen Anwendungsfall genau einzustellen. Die

niedrigen Gasgehalte ermöglichen ein Eingießen dieser Werkstoffe, ohne daß es zu einer Porenbildung kommt, was technisch sinnvolle und kostengünstige Verbundbauteile ermöglicht.

Die Herstellung solcher Verbundbauteile erfolgt, indem das Verstärkungsbauteil, z. B. ein Strangpreßprofilabschnitt, ein Schmiedestück oder ein über zerspannende Verfahren hergestelltes Bauteil, aus einer sprühkompaktierten Al-Legierung, an der Stelle in der Gießform positioniert wird, an der die Verstärkung im fertigen Gußwerkstück erfolgen soll. Je nach Masse des Verstärkungsbauteils im Verhältnis zur Masse des Gußwerkstücks ist es erforderlich, um eine gute Verbindung durch partielles Anschmelzen zu erreichen, daß das Verstärkungsbauteil vorgewärmt wird. Mit der Wahl der Vorwärmtemperatur kann der Grad des Anschmelzens so eingestellt werden, daß das Verstärkungsbauteil auch vollständig aufgeschmolzen wird und es dadurch im Bereich der Verstärkung zu einer vollständigen Durchmischung mit dem Gußwerkstoff kommt, wodurch dieser partiell auflegiert wird. Weiterhin ist es für eine besonders gute Verbindung hilfreich, wenn das Verstärkungsbauteil von der Schmelze parallel und mit ausreichend großer Geschwindigkeit umströmt wird, wodurch die auf Aluminium immer vorhandene Oxidschicht abgewaschen wird und es zu einem direkten Kontakt der Al-Schmelze mit der oxidfreien Al-Oberfläche kommt. Dieser Abwaschvorgang kann entweder durch geschickte Wahl der Angußstellen, durch Rühren, durch Erzeugung von Wirbelströmen mit Hilfe von Induktionsspulen, oder ähnliche Mittel, die eine Strömung der Schmelze parallel zur Oberfläche des Verstärkungsbauteils während oder direkt nach dem Abguß erzeugen, erreicht werden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen erläutert:

Fig. 1 ein Schliffbild einer Fügezone zwischen sprühkompaktiertem Al-Werkstoff (AlSi20Fe5Ni2) und Al-Guß (AlSi18CuMgNi);

Fig. 2 ein Schliffbild einer Fügezone zwischen PM-Al-Werkstoff (AlSi20Fe5Ni2) und Al-Guß (AlSi18CuMgNi);

Fig. 3 ein Schliffbild einer Fügezone zwischen PM-Al-Werkstoff (AlSi35Fe2Ni1) und Al-Guß (AlSi9Cu3);

Fig. 4 a, b schematische Darstellung von Kolbenoberteilen;

Fig. 5 schematische Darstellung des Kolbenbodens.

#### Beispiel 1: Vergleich des erfindungsgemäßen Verbundes mit einem Verbund aus PM-Al-Werkstoff und Al-Guß

Es wurden strangpreßte Rundstangenabschnitte  $\phi$  85 mm  $\times$  55 mm aus der Legierung AlSi20Fe5Ni2 in einer Stahlkokille eingegossen. Dabei wurde zu Vergleichszwecken einerseits eine sprühkompaktierte Legierung und andererseits eine PM-Legierung gleicher Zusammensetzung verwendet. Als Gußwerkstoff wurde eine Kolbenlegierung AlSi18CuMgNi verwendet. Die Strangpreßabschnitte wurden in die offene Kokille eingelegt und auf 450°C vorgeheizt. Die Schmelzentemperatur betrug 720°C. Die Schmelze wurde in die oben offene Kokille auf die Strangpreßabschnitte aufgegossen und der Abwaschvorgang wurde durch Rühren nach dem Abgießen unterstützt. Bei Verwendung der sprühkompaktierten Legierung (Fig. 1) konnte eine einwandfreie Verbindung ohne Poren in der Fügezone erreicht

werden. Bei der PM-Legierung (Fig. 2) entstanden in der Verbindungszone und im PM-Material große Poren durch das Ausgasen und "Ausblühungen" an der Außenseite. An Zugproben aus der sprühkompaktierten Variante, bei denen die Fügezone in der Mitte der Meßlänge lag, wurden Werte nach der Wärmebehandlung ermittelt, wie sie die Gußlegierung in diesem Zustand erreicht. Der Bruch erfolgte immer im Gußmaterial deutlich neben der Fügezone.

Weitere Versuche wurden mit Ringen (Außendurchmesser = 48 mm, Innendurchmesser = 37 mm, Höhe = 7 mm) aus der sprühkompaktierten Legierung AlSi35Fe2Ni1 durchgeführt. Diese Ringe wurden über einen Dorn in einer oben offenen Stahlkokille gelegt und mit der Zylinderkopfliegierung G-AlSi9Cu3 umgossen. Die Schmelzentemperatur betrug 720°C. Die Ringe wurden entweder kalt direkt vor dem Abguß in eine vorgeheizte Kokille eingelegt, oder mit der Kokille zusammen aufgeheizt. Zusätzlich wurde bei einigen Versuchen die Schmelze direkt nach dem Abguß umgerührt. Es konnten mit allen Versuchen porenfreie Verbindungen hergestellt werden. Als besonders günstig erwies sich das Einlegen von kalten Ringen in eine auf 400°C vorgeheizte Matrize mit nachfolgendem Abguß. Durch Rühren direkt nach dem Abguß konnte so eine einwandfreie Verbindung mit extrem feinem Gefüge auf der Ringseite erzielt werden (Fig. 3). Aber porenfreie Fügezonen konnten auch mit anderen Versuchsbedingungen erreicht werden. So führt ein Aufheizen der Ringe auf 500°C mit anschließendem Abguß zu einer ebenfalls sehr guten Verbindung, wobei es bei den Si-Primärausscheidungen im Gegensatz zu den oben genannten Bedingungen zu einer Vergrößerung (von 3–7  $\mu$ m auf 10–20  $\mu$ m) kommt.

#### Beispiel 2: Anwendung des erfindungsgemäßen Verbundes bei Kolben für Verbrennungskraftmaschinen

Ein Anwendungsbeispiel für eine partielle Verstärkung mit Hilfe des Eingießens sind Kolben für Verbrennungskraftmaschinen. Kolbenoberteile sind in den Fig. 4a und 4b dargestellt. Die Fig. 5 zeigt die schematische Darstellung des Kolbenbodens.

Kolben 1 werden heute meistens aus Si-haltigen eutektischen oder übereutektischen Gußlegierungen hergestellt. Insbesondere bei hochbelasteten Kolben für direkteinspritzende Dieselmotoren ist die Muldenrandzone 4 hohen Temperaturen und mechanischen Belastungen ausgesetzt. In den Bereichen des Kolbenhemds 5 genügen Al-Gußwerkstoffe 2 den dortigen Anforderungen. Mit Hilfe des Eingießens von sprühkompaktierten Aluminiumlegierungen (z. B. AlSi20Fe5Ni2) an den belasteten Stellen kann kostengünstig eine Verstärkung 3 der Muldenrandzone 4 oder der gesamten Brennraummulde 7 erfolgen, wodurch eine Konstruktion des Kolbens 1 möglich wird, mit der eine effektivere Verbrennung realisiert werden kann. Weitere Verstärkungsmöglichkeiten am Kolben 1 sind z. B. der Bereich der Ringnut 6, wo zum Teil heute schon Eisenbasis-Werkstoffe eingegossen werden, um den Verschleiß durch die Bewegung der Kolbenringe zu minimieren.

Eine weitere erfindungsgemäße Verstärkung kann im Bereich des Feuersteiges vorgesehen werden (siehe hierzu Bild 5). Durch die Verwendung von sprühkompaktiertem Hochleistungsaluminium an diesen Stellen ergeben sich erhebliche Verbesserungen durch den vollkommenen Verbund der Gußlegierung 2 mit den Verstär-

kungen 3. Es wird dadurch möglich, den Abstand des obersten Kolbenringes zum Kolbenboden 9 zu minimieren, was zu reduzierten Schadstoffwerten führt.

8 Kühlkanal  
9 Kolbenboden

Beispiel 3: Anwendung des erfindungsgemäßen  
Verbundes bei Zylinderköpfen von  
Verbrennungskraftmaschinen

Ein weiteres Beispiel ist die Verstärkung von Zylinderköpfen von Verbrennungskraftmaschinen zur Brennraumseite. Auf Grund der hier entstehenden hohen Temperaturen und der Ausbildung eines Temperaturgradienten kommt es im Zylinderkopf zu Spannungen, die zu Rissen zumeist im Bereich der Stege zwischen den Ventilen führen. Wird in diesen Bereichen eine Verstärkung mit einem Werkstoff vorgenommen, der einerseits den thermischen und mechanischen Belastungen besser standhält, und der andererseits einen anderen Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt als die Gußlegierung des Zylinderkopfes, die wegen der Komplexität und des Formfüllungsvermögens verwendet werden muß, kann die Spannung, die durch den Temperaturgradienten induziert wird, keine kritischen Werte zur Rißentstehung erreichen.

Beispiel 4: Anwendung des erfindungsgemäßen  
Verbundes bei Zylinderlaufbuchsen von  
Verbrennungskraftmaschinen

Ein weiteres Beispiel ist die Zylinderlaufbuchse von Verbrennungskraftmaschinen. Um kostengünstig in einer Großserie Motorenblöcke aus Aluminium fertigen zu können, ist die Verwendung gut gießbarer Al-Legierungen zwingend notwendig. Diese Legierungen erfordern jedoch aufgrund ihrer unzureichenden Verschleißfestigkeit eine Armierung der Kolbenlauffläche. Dies wird heute durch das Eingießen einer Graugußzylinderlaufbuchse erreicht. Der Nachteil hierbei ist eine schlechte Wärmeleitfähigkeit und eine stark unterschiedliche Wärmeausdehnung. Auch entsteht kein vollständiger Stoffverbund zwischen Buchse und Block (Gießspalt), was die Wärmeleitfähigkeit und mechanische Belastbarkeit ebenfalls beeinflußt. Die Verwendung von übereutektischen AlSi-Gußlegierungen ermöglicht zwar die gewünschte Verschleißfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit ohne den Einsatz von Laufbuchsen, jedoch sind solche Legierungen nur mit großem Aufwand und in kleinen Serien zu gießen (wie oben beschrieben).

Bei der Verwendung von Laufbuchsen aus sprühkompaktiertem Material ist es einerseits möglich, leicht gießbare Legierungen für den Motorblock zu verwenden und andererseits eine verschleißfeste Lauffläche ohne besondere Ätzverfahren zu erhalten. Dabei ist durch den vollständigen Stoffverbund und die gute Wärmeleitfähigkeit des Laufbuchsenwerkstoffes die gesamte Wärmeleitfähigkeit erheblich besser als bei der Verwendung von Graugußbuchsen.

Patentansprüche

1. Bauteil (1) bestehend aus einem Al-Gußteil (2) und einem von dessen Grundwerkstoff zumindest partiell durch Eingießen umschlossenen Verstärkungsteil (3), dadurch gekennzeichnet, daß das Verstärkungsteil (3) aus einem sprühkompaktierten Al-Werkstoff besteht und zwischen dem Verstärkungsteil (3) und dem Al-Gußteil (2) porenfreie Fügezonen vorliegen.
2. Verfahren zur Herstellung eines partiell verstärkten Al-Gußbauteils (1) gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte
  - Ausbilden eines aus sprühkompaktiertem Material bestehenden Verstärkungselements (3), das wenigstens einen Teil des fertigen Bauteils (1) definiert;
  - Einsetzen des Verstärkungselements (3) in kompakter, fester Form in den vorgesehenen Raum der das Bauteil (1) bildenden Gießform;
  - Füllen des verbleibenden Raums der Gießform mit der Schmelze des konventionellen Al-Gußwerkstoffs und
  - anschließendes Verfestigen der Schmelze.
3. Verfahren gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das aus sprühkompaktiertem Material bestehende Verstärkungselement (3) als Strangpreßprofilabschnitt ausgebildet wird.
4. Verfahren gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das aus sprühkompaktiertem Material bestehende Verstärkungselement (3) als Schmiedestück ausgebildet wird.
5. Verfahren gemäß Anspruch 2—4, dadurch gekennzeichnet, daß das in die Gießform eingesetzte Verstärkungselement (3) vorgewärmt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorwärmtemperatur so gewählt wird, daß das Verstärkungselement (3) vollständig aufgeschmolzen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 2—6, dadurch gekennzeichnet, daß die Al-Gußschmelze parallel zur Oberfläche des Verstärkungselements (3) und mit so großer Geschwindigkeit in die Gießform eingefüllt wird, daß sie die auf dem Aluminium des Verstärkungselementes (3) vorhandene Oxidschicht abwäscht.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Abwaschvorgang durch die Wahl der Angußstellen und/oder durch Rühren und/oder durch Erzeugung von Wirbelströmen mit Hilfe von Induktionsspulen erreicht wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

Bezugszeichenliste

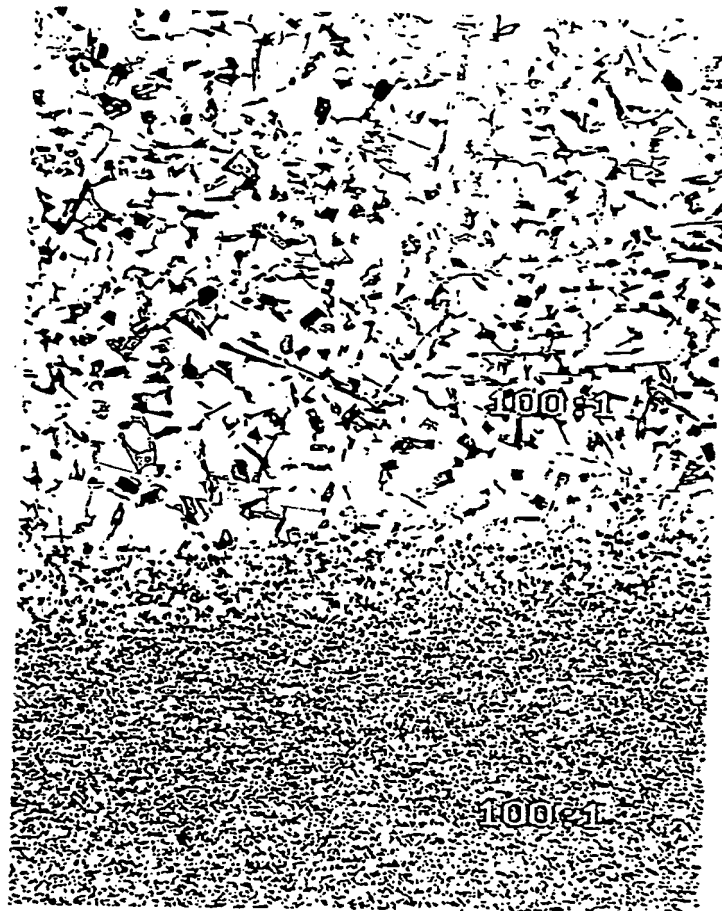
- 1 erfindungsgemäßes Bauteil
- 2 Al-Guß
- 3 Verstärkungsteil
- 4 Muldenrandverstärkung
- 5 Kolbenhemd
- 6 Ringträger
- 7 Brennraummulde

60

65

- Leerseite -

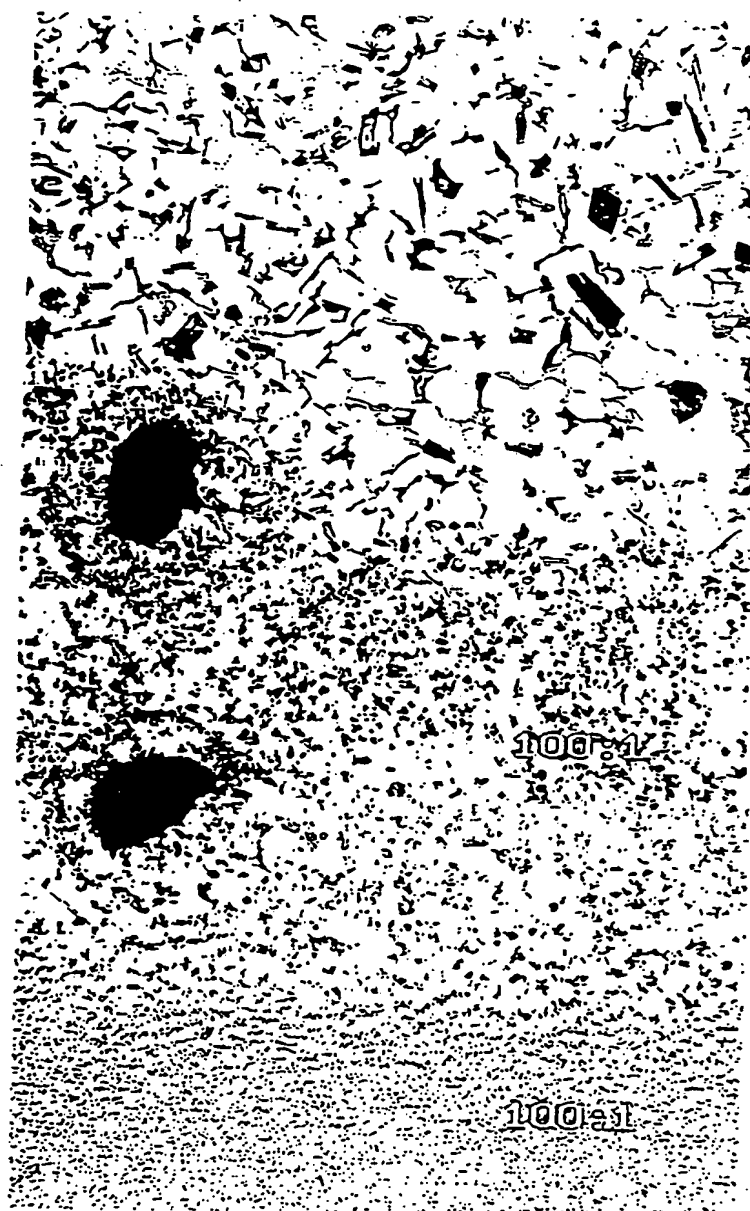
Figur 1



(I) Gußlegierung : AlSi18CuMgNi

(II) Sprühkompaktierte Legierung : AlSi20Fe5Ni2

Figur 2



(I) Gußlegierung : AlSi18CuMgNi

(II) PM - Legierung : AlSi20Fe5Ni2

Figur 3



I

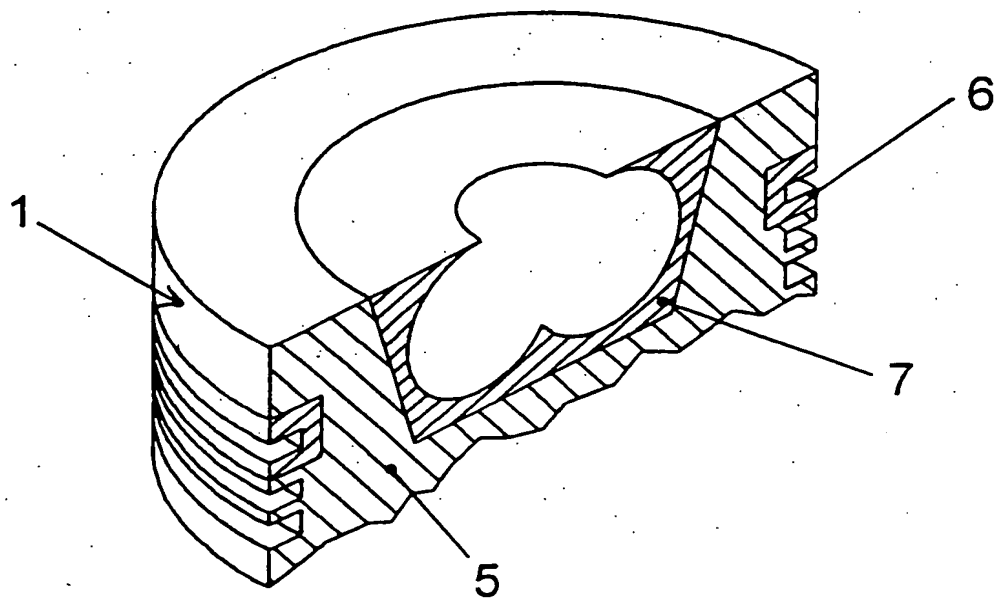
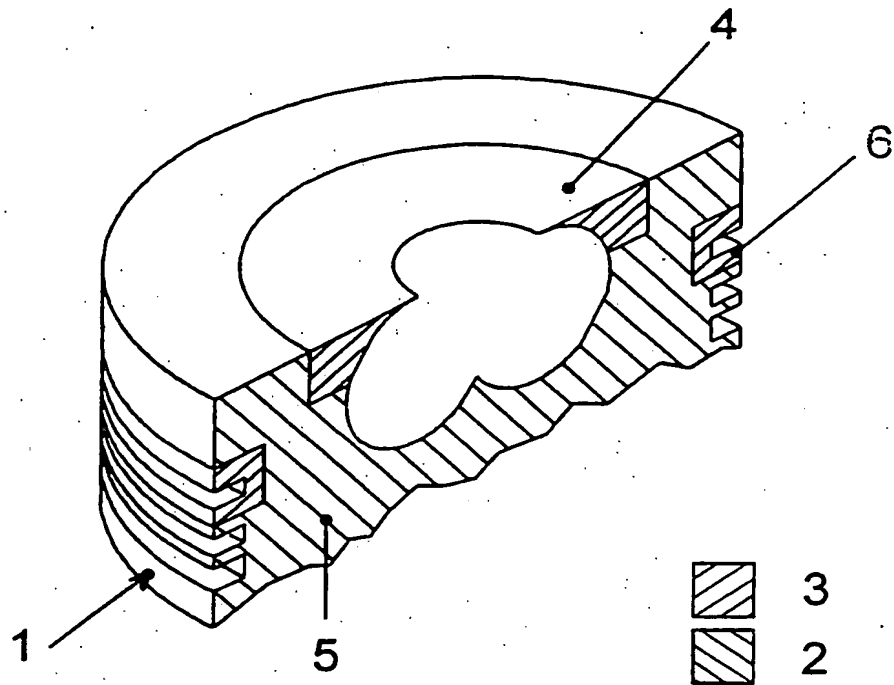
II

(I) Gußlegierung : AlSi9Cu3

(II) Sprühkompaktierte Legierung : AlSi35Fe2Ni1

BEST AVAILABLE COPY





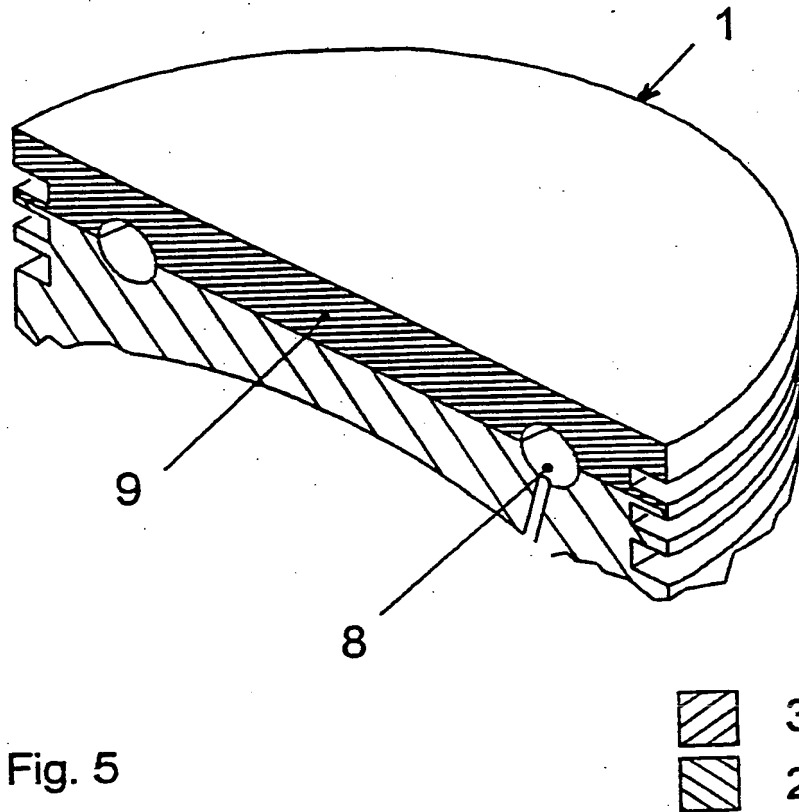


Fig. 5